

ANALISIS IMPELLER PADA POMPA SENTRIFUGAL MENGGUNAKAN PROGRAM *PREVENTIVE MAINTENANCE* YANG TERENCANA DI INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) PT.SIER

Miftachur Rozi Ainurrochim

S1 Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: miftachurainurrochim@mhs.unesa.ac.id

Firman Yasa Utama

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: firmanutama@unesa.ac.id

Abstrak

Pompa Sentrifugal pada perusahaan ini berfungsi untuk menyalurkan limbah pabrik ke instalasi pengolahan air limbah agar kadar limbah berkurang. Salah satu komponen pompa sentrifugal pada instalasi pengolahan air limbah yang harus diperhatikan adalah *impeller*. Perawatannya selama ini menggunakan *corrective maintenance* yaitu ketika mesin mati atau alat mengalami kerusakan baru dilakukan perbaikan. Belum tersedianya penjadwalan *preventive maintenance* menyebabkan tidak diketahuinya faktor kerusakan yang terjadi pada *impeller* saat beroperasi. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui cara mengidentifikasi faktor penyebab kerusakan *impeller* agar dapat meningkatkan performa pompa sentrifugal dan menentukan penjadwalan *preventive maintenance*. Metode pengujian ini menggunakan penelitian terapan (*applied research*). Hasil penelitian ini adalah identifikasi kerusakan pada pompa didapatkan nilai debitnya yaitu 5154 m³ dan didapat dayanya yaitu 10,83 kW. Dalam kondisi ini kemungkinan besar *impeller* mengalami penyumbatan sehingga pompa bekerja sangat keras dan losses daya yang besar tetapi fluida yang dipindahkan sedikit dan ini mengakibatkan hasil produksi tidak maksimum. Dan ini perlu segera untuk ditangani agar tidak menyebabkan pompa terbakar. Pemeliharaan *preventive maintenance* pada komponen *impeller* dilakukan dengan cara : Dua pompa digunakan secara bersamaan menggunakan sistem paralel dengan estimasi waktu kerja 16 jam dengan tujuan agar *lifetime* akan semakin lama dan juga mengurangi biaya *downtime* yang besar.

Kata kunci: *Impeller, Reliability, Preventive Maintenance*

Abstract

Centrifugal pumps in this company serve to channel factory waste to a wastewater treatment plant so that the waste content is reduced. One component of a centrifugal pump in a wastewater treatment plant that must be considered is bearing. The maintenance has been using corrective maintenance, which is when the engine is off or the tool has suffered a new repair. The unavailability of preventive maintenance scheduling has caused no known factor of damage that occurs in bearings when operating. The purpose of this study is to determine how to identify bearing damage in order to improve the performance of centrifugal pumps and determine preventive maintenance scheduling. This test method uses applied research. The results of this study are identification of damage to the pump obtained a small discharge value of 5154 m³ and obtained power is 10.83 kW. In this condition it is most likely that the *impeller* has a blockage so that the pump works very hard and the power losses are large but the fluid that is moved is small and this results in a maximum production yield. And this needs to be addressed immediately so as not to cause the pump to burn. Preventive maintenance on *impeller* components is done by: Two pumps are used simultaneously using a parallel system with an estimated working time of 16 hours with the aim that the *lifetime* will be longer and also reduce the cost of large *downtime*.

Keywords: *Impeller, Reliability, Preventive Maintenance.*

PENDAHULUAN

PT SIER adalah perusahaan BUMN (Badan Usaha Milik Negara) yang menangani pengelolaan kawasan industri

dan pengolahan air limbah pabrik menggunakan pompa sentrifugal. Dimana pompa sentrifugal ini berguna untuk menyalurkan limbah pabrik ke instalasi pengolahan air

limbah untuk diolah sehingga kadar limbah berkurang dan pada akhirnya akan dialirkan ke Sungai Tambak Oso.

Pompa sentrifugal ETA-N 125X100-400 adalah pompa yang berguna untuk memindahkan cairan dengan memanfaatkan gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh *impeller*. Pompa ini berfungsi untuk mengangkat fluida dari tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi atau dari tekanan yang rendah ke tekanan yang lebih tinggi.

Bila terjadi kerusakan pada salah satu komponen pompa sentrifugal, dapat mengakibatkan *shutdown* sistem keseluruhan sehingga menghentikan proses produksi. Hal tersebut akan menyebabkan kerugian pada perusahaan yang berupa biaya pekerja, harga komponen, serta kerugian kegagalan produksi. Oleh karena itu perlu adanya interval pemeliharaan yang sesuai. Apabila interval waktu penggantian komponen terlalu panjang maka, mesin akan berhenti beroperasi dan mengakibatkan kerugian yang cukup besar. Namun jika interval waktu penggantian pendek maka, biaya penggantian menjadi tinggi.

Selama ini perusahaan hanya menggunakan sistem *corrective maintenance* yaitu ketika mesin mati atau alat mengalami kerusakan baru dilakukan perbaikan sehingga dapat mengganggu proses produksi yang berimbas pada peningkatan biaya *down time* dalam proses perbaikan yang berlangsung. Untuk penanganan perawatan ini waktu yang diperlukan untuk memperbaiki yakni antara 2 sampai 4 hari. Oleh karena itu perlu diadakannya *preventive maintenance* yang berguna untuk memperkecil kemungkinan turun mesin dan memperpanjang *lifetime* mesin.

Salah satu komponen pompa sentrifugal ETA-N 125X100-400 Yang harus diperhatikan dalam *preventive maintenance* adalah *impeller*, karena *impeller* merupakan komponen yang sangat mendukung dalam performa *input* dan *output* kapasitas dari pompa sentrifugal.

Dalam penelitian ini akan melakukan analisis *Impeller* pada pompa sentrifugal ETA-N 125X100-400 menggunakan *preventive maintenance*. Dimana analisis Tersebut digunakan pada Instalasi pengolahan Air Limbah (IPAL) di PT. SIER. Sedangkan analisis *impeller* berfungsi untuk meningkatkan performa *input* dan *output* kapasitas pompa dan mempermudah proses perawatannya.

Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat diambil dari batasan penelitian diatas adalah:

- Bagaimana cara mengidentifikasi faktor penyebab kerusakan komponen *Impeller* pada pompa sentrifugal ETA-N 125X100-400 untuk memaksimalkan performa *input* dan *output* pompa sentrifugal ETA-N 125X100-400?

- Bagaimana penjadwalan *preventive maintenance* pada komponen *impeller* pompa sentrifugal ETA-N 125X100-400?

Tujuan Penelitian

Adanya tujuan penelitian ini adalah:

- Untuk Mengetahui cara mengidentifikasi faktor penyebab kerusakan pompa khususnya pada komponen *Impeller* untuk meningkatkan dan memaksimalkan performa *input* dan *output* pompa sentrifugal ETA-N 125X100-400.
- Untuk menentukan penjadwalan *preventive maintenance* pada komponen *impeller* pompa sentrifugal ETA-N 125X100-400.

Kajian Teoritik

- Pompa Sentrifugal
Menurut Sidiq (2016) “Pompa sentrifugal adalah pompa untuk memindahkan cairan dengan memanfaatkan gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh *impeller*.”
- Baling-baling (*Impeller*)
Impeller merupakan cakram bulat dari logam dengan lintasan untuk aliran fluida yang sudah terpasang. *Impeller* biasanya terbuat dari perunggu, polikarbonat, besi tuang atau stainless steel, namun bahan-bahan lain juga digunakan.
- *Preventive Maintenance*
Menurut Stephen (2004) “*Preventive Maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan yang tidak terduga dan menemukan kondisi yang dapat menyebabkan mesin mengalami kerusakan pada waktu proses produksi.”
- Keandalan
Menurut Ebell (1997) “Keandalan adalah probabilitas dimana pada saat suatu operasi berada pada kondisi lingkungan tertentu, sistem akan menunjukkan kemampuannya sesuai dengan fungsi yang diharapkan pada selang waktu tertentu.”

METODE

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian terapan (applied research).

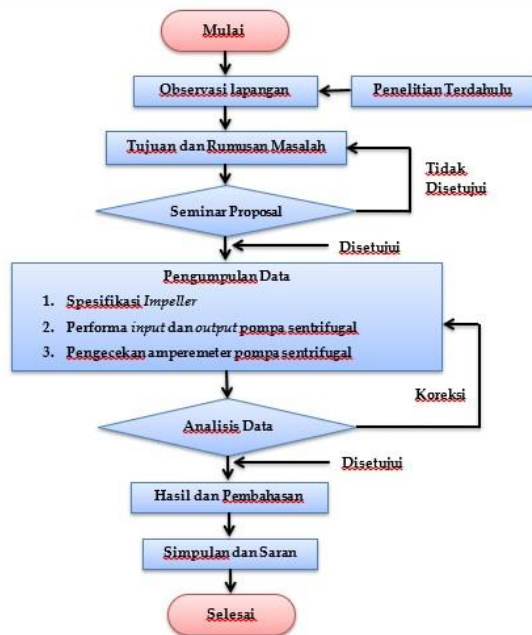
Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT. SIER pada bagian Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada 15 April – 15 Mei 2019.

Obyek Penelitian

Obyek penelitian ini adalah untuk dapat mengidentifikasi faktor penyebab kerusakan dan melakukan perencanaan *preventive maintenance* pada *impeller* dengan menghitung nilai Keandalan dan menguji nilai Dayanya.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Desain Eksperimen

Teknik Pengumpulan Data

Langkah-langkah untuk pengumpulan data kerusakan pada bearing. Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut :

- Menghitung performa *input* dan *output* pompa.
- Menghitung umur pemakaian *impeller*
- Mengukur ampere pompa
- Mencatat hasil ukuran ampere pompa.
- Menganalisis data dan menyimpulkan hasil.
- Menerapkan pada program analisis *preventive maintenance*.

Metode Analisa Data

Langkah-langkah menganalisa data sebagai berikut :

- Menghitung umur pemakaian *impeller*.
- Mengukur *ampere* dengan melihat *amperemeter*.
- Mengitung nilai keandalan pada *impeller*.
- Data hasil yang sudah dilakukan akan dibandingkan satu sama lain agar diketahui faktor kerusakan pada *impeller*.
- Selanjutnya menganalisa hasil perbandingan untuk mengetahui faktor kerusakan pada *impeller*.
- Merencanakan *preventive maintenance* agar *impeller* dapat bekerja dengan maksimal dan meminimalisir terjadinya kerusakan.

- Menyimpulkan hasil penelitian.

Teknik Analisa Data

- Perhitungan umur *impeller*

Perhitungan umur *impeller* ini akan menunjukkan berapa lama dapat beroperasi dan umur ini menggunakan dalam satuan per jam.

Perhitungan untuk umur bantalan sebagai berikut :

Waktu gagal berfungsi (t)

$$= \text{Jumlah waktu (MTBF)} - \text{Jumlah waktu berfungsi (1)}$$

- Perhitungan debit Pompa

Perhitungan debit Pompa

$$= \text{kapasitas pompa} \times 1 \text{ jam} \times \text{waktu beroperasi (2)}$$

Dimana :

Debit pompa dalam (m³/day)

Kapasitas pompa dalam (m³/min)

Waktu beroperasi dalam (h/day)

- Perhitungan Nilai Daya

$$\text{Daya Pompa} = \text{Ampere} \cdot \text{Volt} \cdot \text{konstanta} \cdot \cos \pi \quad (3)$$

Asumsi : nilai konstanta = $\sqrt{3}$; dan $\cos \pi = 0,85$

Dimana :

Ampere = Kuat Arus (A)

Volt = Tegangan (V)

- Perhitungan Nilai Keandalan

Merupakan nilai yang dapat menunjukkan seberapa besar komponen mesin dapat beroperasi dengan baik. Menentukan nilai keandalan dapat dimulai sebagai berikut :

Menghitung laju kegagalan :

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (4)$$

Selanjutnya menghitung waktu gagal berfungsi *impeller*:

Waktu gagal berfungsi(t)

$$= \text{MTBF} - \text{Jumlah Waktu Berfungsi} \quad (5)$$

Terakhir melakukan penghitungan nilai keandalannya yaitu :

$$R(t) = 1/(1 + \lambda t) \quad (6)$$

Jika sudah mengetahui tingkat keandalan bisa dilakukan perhitungan nilai probabilitas kegagalannya :

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (7)$$

Berikut adalah kisaran nilai yang menunjukkan keandalan suatu komponen mesin :

Tabel 1. Nilai Tingkat Keandalan

Besar Nilai R (%)	Interpretasi
0 – 20	Sangat Rendah
20 – 40	Rendah
40 – 60	Sedikit Rendah
60 – 80	Cukup
80 – 100	Tinggi

HASIL DAN PEMBAHASAN

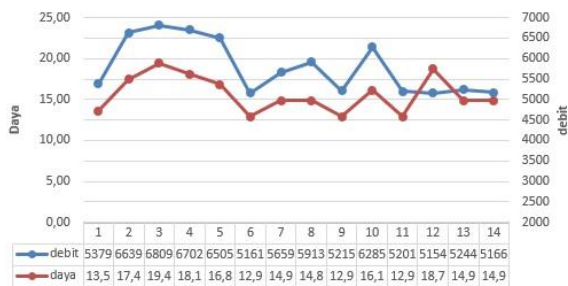
Hasil Analisis kerusakan *Impeller*

Setelah melakukan perhitungan pada debit output pompa, daya pompa dan nilai keandalan *impeller*. Selanjutnya menghubungkan keduanya dan menganalisis faktor kerusakannya.

Diketahui bahwa batas nilai keandalan yang terbaik adalah 80%-100%, bila nilai yang dihasilkan lebih rendah dari nilai tersebut maka keandalannya akan berkurang dan akan menyebabkan cepat terjadinya kerusakan.

Berikut adalah hasilnya :

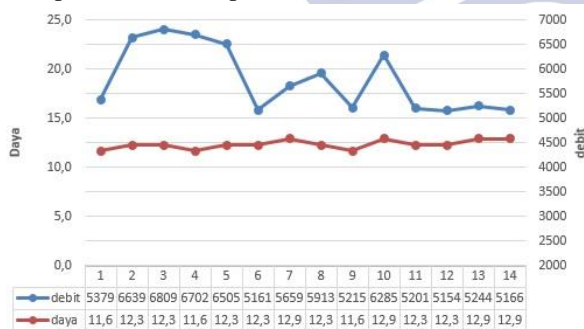
- Impeller Pada Pompa ke-1



Gambar 5. Grafik Hubungan *Debit Pompa dan Daya*

Berdasarkan hasil dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa nilai debitnya kecil yaitu 5154 m³ dan didapat dayanya yaitu 18,7 kW. Dalam kondisi ini kemungkinan besar *impeller* mengalami penyumbatan sehingga pompa bekerja sangat keras dan losses daya yang besar tetapi fluida yang dipindahkan sedikit dan ini mengakibatkan hasil produksi tidak maksimum. Dan ini perlu segera untuk ditangani agar tidak menyebabkan pompa terbakar.

- Impeller Pada Pompa ke-2



Gambar 6. Grafik Hubungan *Debit Pompa dan Daya*

Berdasarkan hasil dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa nilai debitnya yaitu 5659 m³ dan didapat dayanya yaitu 12,9 kW. Dalam kondisi ini kemungkinan besar *impeller* tidak mengalami kerusakan sebab dalam kondisi tersebut pompa bekerja normal dan juga debit yang fluida yang dipindahkan pun normal. Dalam kondisi tersebut dapat disimpulkan bahwa pompa bekerja dengan baik dan lancar tanpa ada yang mengganggu dalam proses pemindahan fluida dikarenakan tidak mengalami penyumbatan sehingga pompa bekerja dengan sangat baik dan losses daya yang kecil tetapi fluida yang

dipindahkan normal dan ini mengakibatkan hasil produksi maksimum.

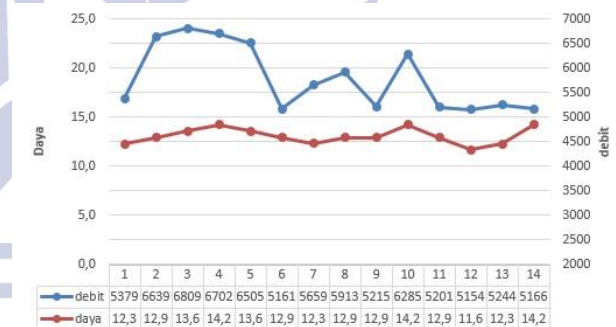
- Impeller Pada Pompa ke-3



Gambar 7. Grafik Hubungan *Debit Pompa dan Daya*

Berdasarkan hasil dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa nilai debitnya yaitu 5659 m³ dan didapat dayanya yaitu 12,9 kW. Dalam kondisi ini kemungkinan besar *impeller* tidak mengalami kerusakan sebab dalam kondisi tersebut pompa bekerja normal dan juga debit yang fluida yang dipindahkan pun normal. Dalam kondisi tersebut dapat disimpulkan bahwa pompa bekerja dengan baik dan lancar tanpa ada yang mengganggu dalam proses pemindahan fluida dikarenakan tidak mengalami penyumbatan sehingga pompa bekerja dengan sangat baik dan losses daya yang kecil tetapi fluida yang dipindahkan normal dan ini mengakibatkan hasil produksi maksimum.

- Impeller Pada Pompa ke-4



Gambar 8. Grafik Hubungan *Debit Pompa dan Daya*

Berdasarkan hasil dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa nilai debitnya yaitu 5659 m³ dan didapat dayanya yaitu 12,9 kW. Dalam kondisi ini kemungkinan besar *impeller* tidak mengalami kerusakan sebab dalam kondisi tersebut pompa bekerja normal dan juga debit yang fluida yang dipindahkan pun normal. Dalam kondisi tersebut dapat disimpulkan bahwa pompa bekerja dengan baik dan lancar tanpa ada yang mengganggu dalam proses pemindahan fluida dikarenakan tidak mengalami penyumbatan sehingga pompa bekerja dengan sangat baik dan losses daya yang kecil tetapi fluida yang dipindahkan normal dan ini mengakibatkan hasil produksi maksimum.

Hasil Analisis *Preventive Maintenance*

Analisis *Preventive Maintenance* ini berguna untuk mengantisipasi cepat terjadinya kerusakan yang akan terjadi pada *impeller* berikut adalah hasilnya :

Tabel 2. Rekomendasi Jam Kerja Pompa

Pompa ke	jam kerja	lifetime	Cost (Rp)
1	24 jam/hari	2 tahun	2.000.000
2	8 jam/hari	4 tahun	1.000.000
3	16 jam/hari	3,5 tahun	1.200.000
4	16 jam/hari	3,5 tahun	1.200.000
Rata-rata	16 jam/hari	3,25 tahun	1.350.000

Di perusahaan kurang menjadwalkan kerja pompa dengan baik sehingga pompa hanya bekerja disesuaikan dengan kondisi fluida yang akan dipindahkan tanpa melihat potensi dari setiap pompa. Potensi dari setiap pompa itu berbeda yakni:

- Pompa 1 = bekerja 24 jam/hari
- Pompa 2 = bekerja 8 jam/hari
- Pompa 3 = bekerja 16 jam/hari
- Pompa 4 = bekerja 16 jam/hari

Dari kondisi tersebut perlu memanfaatkan potensi dari setiap pompa agar *lifetime* meningkat tanpa mengurangi jumlah fluida yang dipindahkan.

Dari tabel 2 di atas penulis menyarankan kepada perusahaan agar mengoperasikan pompanya dengan sistem paralel yakni pompa bekerja secara bergantian seperti berikut ini:

Tabel 3. Jam Kerja Pompa

No	Jenis kegiatan	Senin, 22 Juli 2019			Selasa, 23 Juli 2019			Rabu, 24 Juli 2019			Kamis, 25 Juli 2019			Jumat, 26 Juli 2019		
		06.00-	14.00-	22.00-	06.00-	14.00-	22.00-	06.00-	14.00-	22.00-	06.00-	14.00-	22.00-	06.00-	14.00-	22.00-
1	Rumah Pompa Induk No 1	5	5	5	1	1	1	5	5	5	1	1	1	1	1	1
	Rumah Pompa Induk No 2	5	5	5	1	1	1	1	1	1	5	5	5	1	1	1
	Rumah Pompa Induk No 3	1	1	1	5	5	5	5	5	5	1	1	1	5	5	5
	Rumah Pompa Induk No 4	5	1	5	5	5	5	1	1	1	5	5	5	5	5	5

Keterangan simbol :

- 1 = Stop
- 3 = Perbaikan
- 5 = Jalan

Tabel 4. Rekomendasi Jam Kerja Pompa

NO	POMPA YANG DIGUNAKAN	LIFETIME	JAM KERJA
1	pompa 1	2 tahun	24 jam
	pompa 2	4 tahun	8 jam
2	pompa 3	3,5 tahun	16 jam
	pompa 4	3,5 tahun	16 jam
3	pompa 1	2 tahun	24 jam
	pompa 3	3,5 tahun	16 jam
4	pompa 2	4 tahun	8 jam
	pompa 4	3,5 tahun	16 jam

Sumber : Diolah oleh Penulis

- Jika pompa 1 dan pompa 2 bekerja bersama dengan sistem paralel maka produksi akan

lebih banyak tetapi *lifetime* dari pompa akan relatif lebih cepat untuk mengalami kerusakan.

- Jika pompa 3 dan pompa 4 bekerja bersama dengan sistem paralel maka produksi akan relatif banyak dan juga *lifetime* dari pompa akan relatif lebih lama untuk mengalami kerusakan.
- Jika pompa 1 dan pompa 3 bekerja bersama dengan sistem paralel maka produksi akan relatif lebih banyak tetapi *lifetime* dari pompa akan relatif cepat untuk mengalami kerusakan..
- Jika pompa 2 dan pompa 4 bekerja bersama dengan sistem paralel maka produksi akan relatif lebih sedikit tetapi *lifetime* dari pompa akan relatif lebih lama untuk mengalami kerusakan.

Dari tabel 4 penulis menyarankan kepada perusahaan PT. SIER agar pengoperasian pompa sentrifugal tipe ETA-N 125x100-400 menggunakan sistem paralel dengan jam kerja pompa sesuai dengan poin nomor 2 di atas sebab sistem tersebut dapat menghasilkan produk yang relatif banyak dan *lifetime* dari pompa relatif lebih lama untuk mengalami kerusakan.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka diperoleh simpulan sebagai berikut:

- Cara mengidentifikasi kerusakan *impeller* pada pompa salah satunya yaitu dengan mengecek ampere meter dari pompa dan juga debit output pompa. Bila ampere dibawah 30 A dan debit output yang dikeluarkan sedikit maka pompa tersebut relatif aman. Bila ampere terlalu besar dari batas maksimal yaitu sebesar 30 A sedangkan debit output yang dikeluarkan kecil ini menunjukkan ada gangguan pada *impeller* yaitu dikarenakan penyumbatan oleh benda asing seperti batu, kain, besi, kayu, serat tali yang masuk ke dalam proses pemindahan fluida oleh *impeller*.
- Pemeliharaan *preventive maintenance* pada komponen *impeller* dilakukan dengan cara : Dua pompa digunakan secara bersamaan dengan waktu bekerja masing-masing 16 jam menggunakan sistem paralel, karena sistem tersebut dapat menghasilkan produk yang relatif banyak dan *lifetime* dari pompa relatif lebih lama untuk mengalami kerusakan dengan tujuan agar *lifetime* akan semakin lama dan juga mengurangi biaya *downtime* yang besar.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka diperoleh saran sebagai berikut:

- Hasil dari perhitungan sampai penentuan umur *impeller* dapat digunakan sebagai salah satu pertimbangan dalam kebijakan menentukan pemeliharaan *impeller*.
- Hasil Analisa dan observasi langsung didapatkan bahwa perlu pengadaan penyaring fluida yang lebih rapat agar benda asing yang ada di dalam fluida bisa dihalangi agar tidak masuk pada *impeller* dan menyebabkan kerusakan pada pompa.
- Pengadaan suku cadang jauh-jauh hari agar ketika terjadi *breakdown* mesin bisa secara langsung diatasi dengan cepat sebab dalam kenyataannya perbaikan butuh waktu 2 hari (16 jam) hal ini menyebabkan produksi mengalami penurunan
- Proses penelitian ini hanya dilakukan dalam kurun waktu satu bulan, oleh karena itu disarankan penelitian serupa untuk melaksanakan penelitian dalam waktu minimal 3 bulan.
- Perancangan *preventive maintenance* untuk komponen pompa yang lain dapat dilakukan seperti pemeliharaan pada penelitian ini.
- Dapat dilanjutkan dengan penelitian pengujian suhu dan pengujian korosi kavitas untuk mengetahui penyebab terjadi kerusakan *bearing* agar hasil lebih terperinci.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhi Darmawan, Sidiq. 2016. *Pompa Sentrifugal*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Arikunto, Suharsimi. 1993. *Manajemen Penelitian*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Assauri, Sofyan. 1999. *Manajemen Produksi dan Operasi*. Jakarta: Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia.
- Buku Pedoman Universitas Negeri Surabaya Tahun Akademik 2014/2015 Fakultas Teknik. 2015. Surabaya : Universitas Negeri Surabaya.
- Devina dkk. 2016. "Analisis Getaran Struktur Mekanik pada Mesin Berputar Untuk Memprediksi Kerusakan Akibat Kondisi Unbalance Sistem Poros Rotor" dalam *jurnal teknik*. Surabaya : Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Ebelling, C.E. 1997. *An introduction to reliability and Maintainability Engineering*. New York : The Mc.Graw Hill Companier inc.
- F.L,Whitney. 1960. *The Element of Resert*. Asian Eds. Osaka : Overseas Book co.
- Firman dan Juan. 2018. "Analisis Maintenance Centrifugal Pump Tipe ETA-N 125x100-400 pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri" dalam *Jurnal teknik*. Surabaya : Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.
- Firman Yasa Utama. 2012. "Pemodelan dan Simulasi Reliability Komponen Pesawat Terbang Tipe Boeing737-300/-400 di PT. Merpati Nusantara Airlines" dalam *tesis*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Guntoro, Muhammad Bayu. 2017. *Preventive Maintenance Pompa Sentrifugal Pada Suplai Air Sungai Pabrik PTPN IV Unit Usaha Adolina*. Medan : Sekolah Tinggi Teknik Harapan.
- Hadari dan Mimi. 2005. *Penelitian Terapan*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- John and Andrew. 2001. *Maintenance Excellence*. New York : Marcel Dekker, Inc.
- Mierza Muhtadin. 2017. "Perawatan Korektif Pompa Sentrifugal Between Bearing (3003J) di PT. Pupuk Kujang Cikampek" dalam *jurnal teknik*. Bandung : Universitas Pasundan.
- Render Barry dan Jay Heizer. 2001. "Operations Management". Jakarta: Salemba Empat.
- Sehrawat, MS. and JS. Narang, 2001, *Production Manajemen, 3rd Edition*, Dhonpat Rai & Co. (P) Ltd, Delhi
- Stephens, Matthew.P. (2004), *Productivity and Reliability Based Maintenance Management*, Pearson Education Inc, New Jersey.
- Sugiyono. 2015. *Metode penelitian pendidikan kuantitatif, kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Suharto Dkk. 2004. *Perekayasaan Metodologi Penelitian*. Yogyakarta : Penerbit Andi Yogyakarta.
- Sulitya, Wahyu. 2013. "Perencanaan Perawatan Dan Perbaikan Alat Peraga Perawatan Instalasi Pompa Jenis Pompa Sentrifugal-Kapasitas 30 L/Min" dalam *jurnal teknik*. Kediri : Politeknik Kediri.
- Sularso. 1991. *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
- Sumantri. 1989. *Perawatan Mesin*. Jakarta: Proyek Pengembangan Lembaga Pendidikan Tenaga Kependidikan.
- Wati, Cut Lisna (2009), "Usulan Perbaikan Efektifitas Mesin dengan Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness sebagai Dasar Penerpan Total Productive Maintenance di PT. WIKI. Fakultas Teknik USU. Medan